



①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Pat ntschrift  
⑩ DE 42 09 933 C 2

⑥① Int. Cl.<sup>6</sup>:  
B 23 K 26/00

②① Aktenzeichen: P 42 09 933.1-34  
②② Anmeldetag: 27. 3. 92  
④③ Offenlegungstag: 30. 9. 93  
④⑤ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 11. 8. 94

DE 42 09 933 C 2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:  
FOBA Formenbau GmbH, 58513 Lüdenscheid, DE

⑦④ Vertreter:  
Ostriga, H., Dipl.-Ing.; Sonnet, B., Dipl.-Ing.,  
Pat.-Anwälte, 42275 Wuppertal

⑦② Erfinder:  
Aberle, Hanns-Dieter, Dr., 8416 Hemau, DE

⑥⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 39 23 356 C1  
DE 39 39 866 A1

Tönshoff, H.K., Stürmer, M., »Laserfräsen-  
Formabtrag mit Hochleistungslasern«, in: »Laser  
Magazin«, 1991, H. 6, S. 16-24;  
Furegati, R., Haltiner, W., »Laserbeschrif-  
ter - optimale Lösung für die wirtschaftli-  
che Kennzeichnung«, in: »Werkstattstechnik«, 1991,  
528-530;

⑥④ Verfahren für den Formabtrag an einem Werkstück durch Laserstrahlverdampfung des Werkstoffes mit  
einem cw-Nd:YAG-Laser

DE 42 09 933 C 2

Die Erfindung betrifft ein Verfahren für den Formabtrag an einem Werkstück durch Laserstrahlverdampfung des Werkstoffes mit einem gütegeschalteten kontinuierlich angeregten cw-Nd:YAG-Laser entsprechend dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Derartige Verfahren und Vorrichtungen sind in der DE-Z "Laser Magazin", 1991, H. 6, S. 16—24, in dem Artikel "Laserfräsen — Formabtrag mit Hochleistungslasern" von Tönshoff, H. K., u. a. beschrieben.

Im einzelnen zeigt die DE-Z "Laser-Magazin" (vgl. Bilder 2, 3 und 5) bereits ein linienförmiges "Abscannen", bei welchem während der Bearbeitung der Werkstücke diese selbst oder der Laserkopf bewegt werden. Die Handhabung der nach dem bekannten Verfahren arbeitenden Vorrichtung ist daher sehr umständlich und läßt demnach nur relativ geringe Arbeitsgeschwindigkeiten zu.

Gemäß der DE-Z "Laser-Magazin" (vgl. S. 17 rechte Spalte Abs. 2; S. 18 mittlere Spalte Abs. 2; S. 19 äußere rechte Spalte Abs. 1) wird für die Zwecke des Laserformabtrags dem gepulsten Laser, und zwar dem pw-Nd:YAG-Laser, der Vorzug gegeben. Indessen wird in der vorgenannten Veröffentlichung die Abtragstiefe mit maximal 1 mm (vgl. S. 18 mittlere Spalte Abs. 2) als zu gering bezeichnet. Auch wird in jeder Veröffentlichung im Zusammenhang mit UV-Lasern auf eine die Metallbearbeitung behindernde Plasmaabschirmung hingewiesen.

In der DE-Z "wt-Werkstattechnik", 1991, S. 528—530, beschreiben R. Furegati u. a. in den Artikel "Laserbeschrifter—optimale Lösung für die wirtschaftliche Kennzeichnung" ein nicht zur engeren Gattung gehörendes Verfahren, und zwar ein Laser-Beschriftungsverfahren, welches alternativ entweder nach dem Maskenverfahren oder nach dem Strahlablenkungsverfahren (vgl. S. 28 linke Spalte vorletzter und letzter Abs.) betrieben werden kann. Bei dem bekannten Laser-Beschriftungsverfahren wird der Laserstrahl über zwei rechnergesteuerte Ablenkspiegel (Galvanometer) gelenkt. Hierbei werden mit hoher Geschwindigkeit (in einer einmaligen Behandlung) Buchstabe für Buchstabe, Strich auf Strich, auf das Werkstück aufgebracht. Im Unterschied dazu arbeitet das eingangs beschriebene bekannte Abtragsverfahren gemäß der DE-Z "Laser-Magazin" iterativ, indem Rasterlinie auf Rasterlinie unter Anwendung eines bestimmten Rasterlinienversatzes mit dem Laserstrahl abgefahren werden, um möglichst große Abtragstiefen, die indessen maximal nur 1 mm betragen, zu erreichen.

Ausgehend von dem eingangs beschriebenen gattungsgemäßen Verfahren für den Formabtrag durch Laserstrahlverdampfung des Werkstückes an einem Werkstück (DE-Z "Laser-Magazin" a. a. O., liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, das bekannte Verfahren so zu verbessern, daß es bei der Bearbeitung kleinflächiger Werkstück-Oberflächenteile geringe Bearbeitungszeiten und größere Abtragstiefen bei viel geringeren Rauhtiefen als bisher gestattet.

Diese Aufgabe wird entsprechend der Erfindung dadurch gelöst, daß zur Strahlablenkung drehbar angetriebene Ablenkspiegel und zur Fokussierung des Laserstrahls ein Planfeldobjektiv verwendet werden, und daß die Rasterlinien eine netzartige Struktur aufweisen, das Rasterfeld bilden, das unter Beibehaltung der Relativlage des Umrisses zusätzlich zu dem translatorischen Versatz um einen bestimmten Winkel auf der Werk-

stückoberfläche gedreht wird.

Der Vorteil des erfindungsgemäßen Abtragsverfahren besteht zunächst darin, daß dank der Strahlablenkung bei der Bearbeitung der für die Erfindung in Frage kommenden Teilflächen weder das Werkstück noch der Laserkopf bewegt werden müssen. Die dadurch bedingte einfache Handhabung läßt daher große Arbeitsgeschwindigkeiten zu.

Für die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren erzielte große Abtragstiefe von über 2 mm, verbunden mit einer gleichförmigen Bearbeitung zur Erzielung einer geringen Rauhtiefe, ist zunächst die besondere netzartige Struktur des Rasterfeldes wesentlich. Dabei ist es besonders wichtig, daß das gesamte netzartige Rasterfeld unter Beibehaltung der Relativlage des Umrisses, welcher den zu verändernden Oberflächenteil bestimmt, zusätzlich zu dem an sich bekannten translatorischen Versatz (s. a. O. DE-Z "Laser-Magazin") auch noch um einen bestimmten Umfangswinkel, dem Drehwinkel, versetzt wird.

Durch den erfindungsgemäßen Versatz wird insgesamt erreicht, daß möglichst wenige Stellen des zu verändernden Oberflächenflächenteils mehrfach durch den Laserstrahl beaufschlagt werden, insbesondere wird eine Überlagerung von Kreuzungsstellen vermieden. Beim Abfahren des Rasterfeldes mit dem Laserstrahl muß darauf geachtet werden, daß die Einwirkdauer und die Höhe des Energieinhalts der die Körper-Oberfläche einschußartig beaufschlagenden Laserpulse derart begrenzt werden, daß bei Minimierung einer Plasmabildung im wesentlichen nur eine Verdampfung des Werkstoffes eintritt.

Mit den erfindungsgemäßen Maßnahmen ist es insgesamt möglich geworden, beispielsweise bei einem Stahl des Typs 1.2311 eine Abtragstiefe in der Größenordnung von Millimetern zu erzielen. Diese bislang nicht erzielte vorteilhafte große Abtragstiefe läßt sich wohl nur durch die eigenartige erfindungsgemäße Führung des Laserstrahls sowie dadurch erklären, daß praktisch bei Vermeidung einer Plasmabildung nach Möglichkeit nur eine Verdampfung des Werkstoffes erfolgt. Dadurch, daß der Werkstoff unter Einwirkung des Laserstrahls unmittelbar verdampft und abgesaugt wird, kann bei Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens eine die Eindringtiefe des Laserstrahls behindernde Oxydbildung offenbar weitestgehend vermieden werden.

Auch erscheint es wichtig, durch Begrenzung des Energieinhalts des nach Art von einzelnen Einschüssen pulsförmig auf den Werkstoff aufprallenden Laserstrahls eine Plasmabildung weitestgehend minimieren zu können, um auf diese Weise eine die Eindringtiefe des Laserstrahls ansonsten verringemde Absorption zu vermeiden.

Bei Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der Laserstrahl mit Hilfe eines akustooptischen Modulators zweckmäßig mit einer Frequenz von ca. 10 kHz gesteuert. Das erfindungsgemäße Rasterfeld ist demnach aus Rasterlinien-Längen zusammengesetzt, welche jeweils aus 10 000 pro Sekunde aufeinanderfolgenden, linienartig hintereinander angeordneten, Laser-Einschüssen bestehen. Die mittlere Strahlungsleistung des Lasers beträgt hierbei etwa 50 W.

Der vorbestimmte Versatz, wie Drehwinkel oder translatorischer Versatz, wird in Abhängigkeit von dem zu bearbeitenden Werkstoff ausgewählt. Das gilt auch für den Parallelabstand der Rasterlinien voneinander.

Bei der Bearbeitung des vorerwähnten Stahls des Typs 1.2311 kann beispielsweise der Drehwinkel 15°

betragen, während der Parallelabstand der Rasterlinien von inander ca. 50  $\mu\text{m}$  beträgt.

Das erfindungsgemäße Verfahren wird nun anhand beigefügter Zeichnungen erläutert, hierbei zeigt

Fig. 1 in mehr schematischer Weise den Aufbau einer zur Ausübung des erfindungsgemäßen Verfahrens verwendeten Laservorrichtung,

Fig. 2 die Draufsicht auf ein Werkstück sowie schließlich die

Fig. 3–5 Detailvergrößerungen im wesentlichen entsprechend der mit III, IV und V bezeichneten Einkreisung in Fig. 2.

Das Herzstück der Laservorrichtung 10 in Fig. 1 besteht aus einem Nd:YAG-Stab 11.

Parallel zum Nd:YAG-Stab 11 ist eine mit Gleichstrom betriebene Krypton-Bogenlampe angeordnet, deren Emissionsspektrum zur Anregung der optischen Zustände im Nd:YAG-Stab geeignet ist.

Das von der Krypton-Bogenlampe erzeugte Licht gelangt in den Nd:YAG-Stab. Dort wird gemeinsam mit dem optischen Resonator, bestehend aus Endspiegel 13 und Auskoppelspiegel 14, der Laserstrahl L erzeugt.

Zwischen dem Nd:YAG-Stab 12 und dem Auskoppelspiegel 14 ist ein akustooptischer Modulator 15 eingebaut, der etwa wie folgt funktioniert:

In einem Glasblock wird durch ein Piezoelement eine Ultraschallwelle eingekoppelt, die in dem Glasblock ein optisches Gitter erzeugt. Das Ein- und Ausschalten des Gitters wird von einem insgesamt mit 17 bezeichneten Steuerteil veranlaßt, von welchem elektrische Steuerleitungen 16 zum akustooptischen Modulator 15 führen.

Das Ein- und Ausschalten des optischen Gitters des akustooptischen Modulators 15 hat das Ein- und Ausschalten des Laserstrahls L zur Folge. Durch dieses Ein- und Ausschalten, im vorliegenden Fall mit einer Schaltfrequenz von etwa 5 kHz, entstehen in Verbindung mit dem Nd:YAG Stab Energiespitzen besonders großer Leistung, was insgesamt mit dem Begriff "Technik der Güteschaltung", umschrieben werden kann.

Mittels einer Streulinse 18 und einer Sammellinse 19 erfolgt sodann eine Aufweitung des Laserstrahls L. Der aufgeweitete Laserstrahl L wird auf einen ersten Drehspiegel 20 gegeben und von diesem auf einen zweiten Drehspiegel 21 reflektiert. Die Drehachsen x, y der beiden Drehspiegel 20, 21 verlaufen orthogonal zueinander. Die Drehachse y des Drehspiegels 20 verläuft z. B. lotrecht und die Drehachse x des Drehspiegels 21 horizontal.

Beide Drehspiegel 20, 21, werden durch je einen sogenannten Galvanometerscanner 22, 23 entsprechend den Dreh-Doppelpfeilen v, z angetrieben. Die Galvanometerscanner 22, 23 sind über elektrische Steuerleitungen 24, 25 mit dem Steuerteil 17 verbunden. Die Galvanometerscanner gestatten es, Drehungen mit definierten Drehwinkeln zu erzeugen. Typische Werte hierbei sind beispielsweise  $\pm 8$  Winkelgrad.

Zu ergänzen ist noch, daß auch die Krypton-Bogenlampe 12, die sogenannte "Pumplampe", über zwei elektrische Leitungen 26, 27 durch das Steuergerät 17 versorgt wird.

Bevor der durchgehend mit L bezeichnete Laserstrahl auf das Werkstück W gelangt, mit dem er wechselwirken soll, wird er durch ein Fokussierobjektiv hindurchgeleitet, welches ein Planfeldobjektiv 28 ist, um auf dem Werkstück W eine hohe Energiedichte erzeugen zu können.

Das in Fig. 2 gezeigte Werkstück W bietet dem Betrachter seine Gravurfläche G dar. Die Gravurfläche G

soll zu dem zentralen Bestandteil eines Werkzeugeinsatzes gehören, welcher bei der artikelbildenden Formgebung innerhalb einer Werkzeugform zur Herstellung von Kunststoffspritzgußartikeln verwandt wird. Die Gravurfläche G enthält einen veränderten bzw. abgetragenen Bereich A und einen erhabenen Bereich B. Die Kontur des erhabenen Bereichs B besitzt Pfeilform.

Aus Fig. 2 ist ein netzartiges Rasterfeld N zu erkennen, welches — jeweils anders orientiert — auch in vergrößerten Detaildarstellungen entsprechend den Fig. 3–5 teilweise zu ersehen ist.

Das Rasterfeld N, welches gewissermaßen auf die Gravurfläche G projiziert ist, soll verdeutlichen, wie der Laserstrahl L geführt wird, um den abgetragenen Bereich A zu erzeugen.

Der abgetragene Bereich A ist innen von einer Umrißlinie U1, die der Kontur des Pfeiles entspricht und außen von einer Umrißlinie U2 begrenzt.

Die Umrißlinien U1 und U2 stellen praktisch eine Innenbegrenzung und eine Außenbegrenzung dar, die der Laserstrahl auf dem Werkstück W nicht überschreitet. Die Umrißlinien U1 und U2 des Rasterfeldes N sind Ergebnis der Laserstrahl-Steuerung, für welche ein im Steuergerät 17 enthaltener programmierbarer Rechner bestimmend ist.

Das Rasterfeld N setzt sich aus geraden Rasterlinien R1, R2 und R3 zusammen. Eine Anzahl von Rasterlinien R1, eine weitere Anzahl von Rasterlinien R2 und eine weitere Anzahl von Rasterlinien R3 verlaufen jeweils parallel mit einem Parallelabstand p zueinander.

Die Rasterlinien R1 und R2 schließen — ebenso wie die Rasterlinien R2 und R3 — jeweils einen Winkel von  $60^\circ$  ein, so daß sich, wie aus Fig. 3 zu ersehen, kleine gleichseitige Dreiecke aus den Rasterlinien R1, R2 und R3 ergeben.

In einer ersten Phase (Fig. 3) wird nun der Laserstrahl durch die vom Rechner des Steuergerätes 17 initiierte Bewegung der Drehspiegel 20, 21 so umgelenkt und unter Beachtung der Umrisse U1 und U2 so geführt, daß eine Bearbeitung der Oberfläche des Werkstückes W entlang den Linien des Rasterfeldes N erfolgt.

Sobald das sich über die gesamte Fläche A erstreckende Rasterfeld N entsprechend der in Fig. 3 dargestellten örtlichen Lage abgearbeitet ist, wird das Rasterfeld N mit einem Drehwinkel von  $150^\circ$  nach links gedreht und zugleich um einen gewissen Betrag translatorisch verschoben, um zu vermeiden, daß die Rasterlinien-Kreuzungspunkte K gemäß Fig. 3 mit denen gemäß Fig. 4 zusammenfallen.

Entlang dem versetzten Rasterfeld N gemäß Fig. 4 wird sodann die gesamte Fläche A, begrenzt von den Umrissen U1 und U2, erneut insgesamt abgearbeitet, was anschließend nach einer weiteren Drehung nach links um  $150^\circ$  und einer weiteren analogen translatorischen Verschiebung zusätzlich noch ein weiteres Mal erfolgt, wie in Fig. 5 dargestellt.

Jede Rasterlinie R1, R2 und R3 setzt sich aus einer Vielzahl von kleinen pulsartigen Laserstrahl-Einschüßen zusammen, von denen 10 000/s erfolgen. Hierbei wird der Werkstoff, im vorliegenden Fall Stahl des Typs 12311, verdampft und abgesaugt, so daß insgesamt die abgetragene Fläche A entsteht, die gegenüber der erhabenen Fläche B ein Höhendifferenz in der Größenordnung von Millimetern aufweist.

Während des Versatzes (Drehung und translatorische Verschiebung) des Rasterfeldes N gemäß den Darstellungen von Fig. 3 nach Fig. 4 und von Fig. 4 nach Fig. 5 bleibt die örtliche Lage der Umrisse U1 und U2 unver-

ändert.

## Patentansprüche

1. Verfahren für den Formabtrag an einem Werkstück durch Laserstrahlverdampfung des Werkstoffes mit einem gütegeschalteten kontinuierlich angeregten cw-Nd:YAG-Laser, insbesondere mit in den Strahlengang eingegliedelter Strahlaufweitung, wobei der Laserstrahl entlang durch einen Rechner vorgegebener Rasterlinien, die innerhalb eines den abzutragenden Oberflächenteil eingrenzenden Umrisses ein Rasterfeld bilden, mittels einer rechnergesteuerten Strahlablenkeinrichtung über die Werkstückoberfläche geführt wird, anschließend die Rasterlinien auf der Werkstückoberfläche translatorisch versetzt werden und die Werkstückoberfläche erneut entlang der versetzten Rasterlinie mit dem Laserstrahl abgefahren wird, dadurch gekennzeichnet, daß zur Strahlablenkung drehbar angetriebene Ablenkspiegel (20, 21) und zur Fokussierung des Laserstrahls (L) ein Planfeldobjekt (28) verwendet werden, und daß die Rasterlinien (R1, R2, R3) ein eine netzartige Struktur aufweisendes Rasterfeld (N) bilden, das unter Beibehaltung der Relativlage des Umrisses (U1, U2) zusätzlich zu dem translatorischen Versatz um einen bestimmten Winkel auf der Werkstücks Oberfläche gedreht wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Drehwinkel bei der Bearbeitung von Stahl des Typs 1.2311 ca. 15° beträgt.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Bearbeitung von Stahl des Typs 1.2311 der Parallelabstand (p) der Rasterlinien (R1, R2, R3) ca. 50 µm beträgt.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

40

45

50

55

60

65

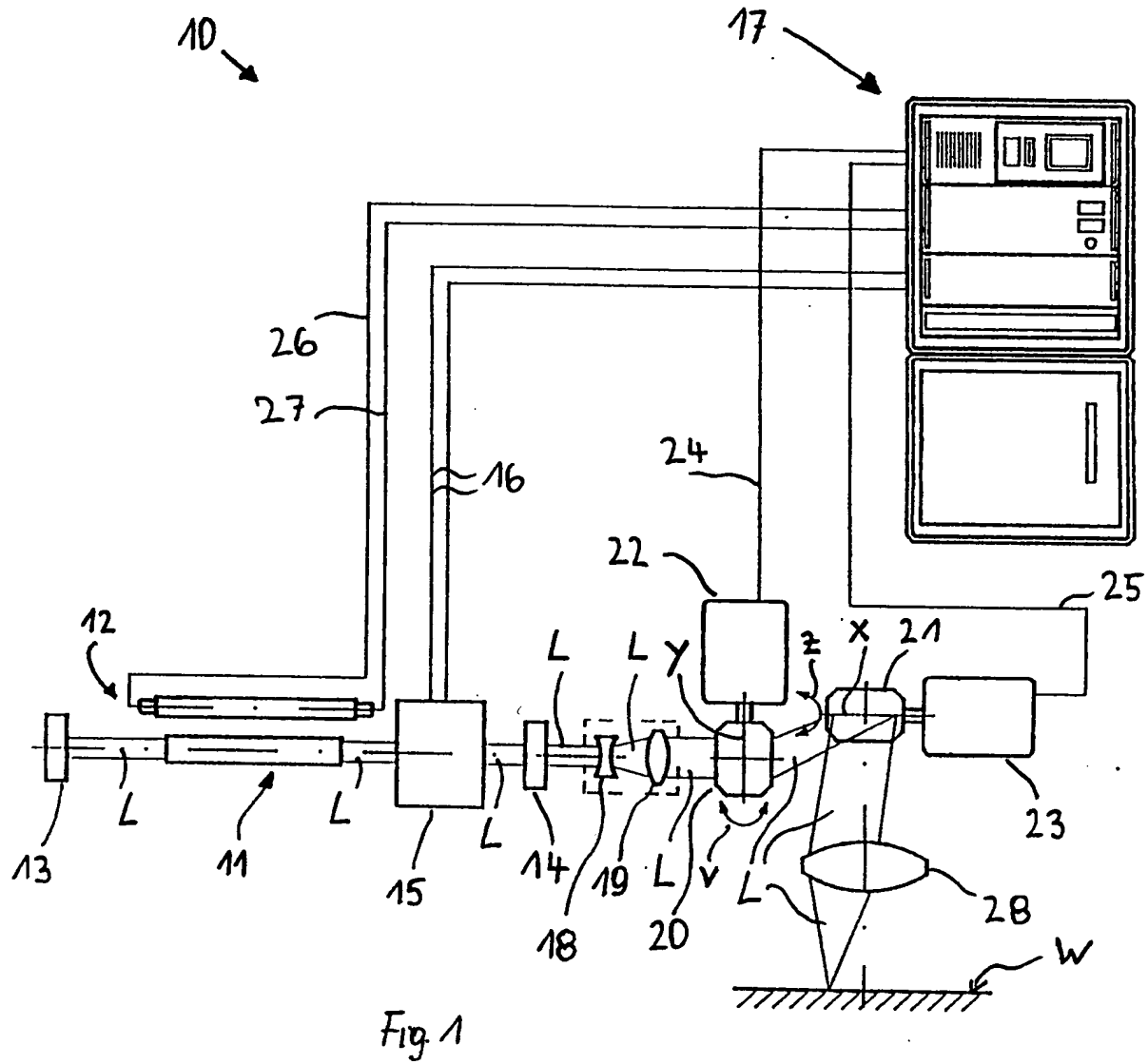


Fig. 1

